



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) EP 0 714 861 A1

(12) DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
05.06.1996 Bulletin 1996/23

(51) Int Cl.⁶: C03B 37/15, G02B 6/28

(21) Numéro de dépôt: 95402672.0

(22) Date de dépôt: 27.11.1995

(84) Etats contractants désignés:
DE GB

(30) Priorité: 28.11.1994 FR 9414236

(71) Demandeur: FRANCE TELECOM
F-75015 Paris (FR)

(72) Inventeur: Rivoallan, Loïc, Cabinet Ballot-Schmit
F-94230 Cachan (FR)

(74) Mandataire: Schmit, Christian Norbert Marie
Cabinet BALLOT-SCHMIT,
16, avenue du Pont Royal
94230 Cachan (FR)

(54) Procédé de fabrication de fibres étirées selon un profil prédéterminé

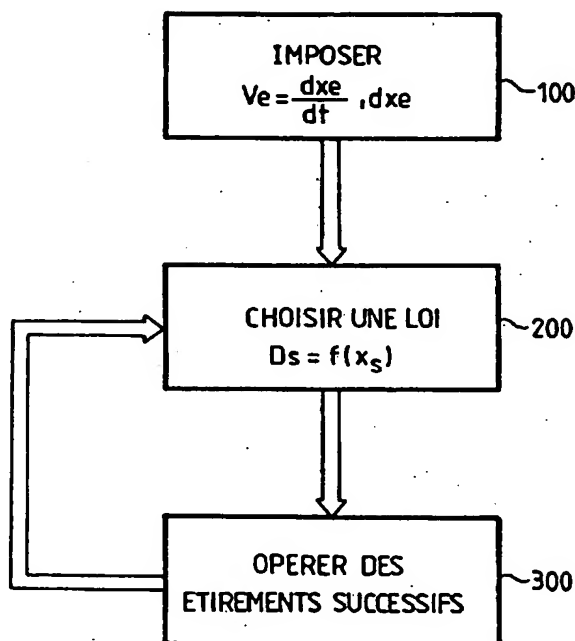
(57) L'invention a pour objet un procédé d'étirage contrôlé d'une ou plusieurs fibres optiques selon un profil désiré, et son dispositif de mise en oeuvre.

Le procédé comporte plusieurs étapes selon lesquelles on impose une vitesse $v_e = dx_e/dt$ de défilement de la fibre entrant dans le four, on choisit une loi f de

variation du diamètre D_s de la fibre en sortie de four telle que $D_s = f(x_s)$ dans laquelle x_s représente les positions, variables dans le temps, de la fibre en sortie de four, on opère des étirements successifs sur la fibre pour modifier à chaque fois le diamètre D_s de la fibre en sortie de four, de façon à suivre le profil défini par la loi f de variation.

bre optique.

FIG. 1



Description

L'invention concerne un procédé de réalisation de fibres optiques étirées selon un profil prédéterminé que l'on souhaite obtenir.

Ce procédé peut être intéressant dans certaines applications et notamment pour l'optique guidée dans les fibres. L'invention s'applique particulièrement dans le cas de fibres monomodes.

Le procédé selon l'invention peut s'appliquer à la fabrication de dispositifs tels que des filtres par interférences entre modes, des coupleurs fondus étirés, des senseurs à absorption de surface. Ces dispositifs sont généralement constitués de trois sections. La première, en fibres étirées, permet de coupler la puissance du mode de la fibre vers une deuxième partie, de diamètre inférieur à la fibre de départ, où un ou plusieurs modes se propagent à des vitesses différentes. La troisième section est une autre section effilée permettant de revenir au diamètre de fibre d'origine. Cependant, l'invention peut également s'appliquer pour modifier le diamètre du mode guidé par la fibre, la partie utile n'étant alors que la première section.

De nombreux procédés de fabrication de fibres étirées ont déjà été mis en oeuvre en vue de réaliser soit des coupleurs, soit des filtres modaux, mais aucun d'entre eux ne permettait de réaliser de façon très précise un étirage selon un profil désiré. Ces procédés décrivaient les moyens de minimiser les pertes optiques des dispositifs et les moyens d'éviter les pentes critiques qui conduisent à des couplages vers des modes d'ordre élevé non récupérables en sortie de dispositif.

Cependant, dans la publication de Kenny R.P., Birks T.A., Oakley K.P. intitulée "Control of optical fibre taper shape", Electron. Lett., 1991, 27, pp 1654-1656, il est décrit un procédé d'étirage contrôlé de fibres optiques.

Dans ce système, on part d'un modèle. Ce modèle est obtenu par une loi f de variation du rayon r de la fibre en fonction de son élongation x telle que $r=f(x)$. On chauffe la fibre sur une longueur fixée L et on tire à chaque bout pour provoquer l'élongation x voulue pour que la valeur du rayon r de la fibre obéisse à la loi de variation $r=f(x)$ définissant le modèle choisi.

Ce document décrit en outre une généralisation du modèle consistant à dire que l'élongation x entraîne une variation de la longueur fixée L puisque la fibre s'est allongée. La fibre étant statique, la variation de longueur L ne peut se situer que dans l'espace, elle ne peut en aucun cas se situer dans le temps. La longueur fixée L est également très dépendante de la largeur de flamme du chalumeau utilisé ou du déplacement du chalumeau si ce dernier est mobile.

Dans tous les cas, l'étirage est très limité sur une longueur fixée de fibre puisqu'il n'y a pas d'apport de matière au cours de l'étirage. En outre cette technique nécessite l'utilisation d'un modèle préalable.

Cette technique est complexe et ne permet pas en

outre d'obtenir toute la précision désirée pour le profil obtenu. La présente invention permet de remédier à ce problème. Elle a pour objet un procédé d'étirage contrôlé d'une ou plusieurs fibres optiques selon un profil désiré obéissant à une loi f de variation telle que $D_s=f(x_s)$ dans laquelle x_s représente les positions variables dans le temps de la fibre en sortie de four.

Ainsi on obtient le profil désiré avec une grande précision sans limite sur la longueur de fibre utilisée.

L'invention a plus particulièrement pour objet un procédé d'étirage contrôlé d'une ou plusieurs fibres optiques principalement caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :

- 15 - imposer une vitesse $V_s = dx_s/dt$ de défilement de la fibre entrant dans le four,
- choisir une loi f de variation du diamètre D_s de la fibre en sortie de four telle que $D_s=f(x_s)$ dans laquelle x_s représente les positions, variables dans le temps, de la fibre en sortie de four,
- 20 - opérer des étirements successifs sur la fibre pour modifier à chaque fois le diamètre D_s de la fibre en sortie de four de façon à suivre le profil défini par la loi f de variation.

Selon un mode préféré de réalisation, pour opérer les étirements successifs sur la fibre de manière à modifier à chaque fois le diamètre D_s de la fibre et à suivre le profil défini par la loi f de variation,

- 30 - on détermine une première valeur du diamètre D_s de la fibre en sortie de four, à partir de la loi f établie, en fonction de la position x_s de la fibre en sortie de four,
- 35 - on détermine le déplacement dx_s pour réaliser un étirement de la fibre en sortie de four correspondant à cette valeur, à partir de la valeur de la vitesse dx_s de défilement de la fibre en entrée de four et de la valeur du diamètre D_s précédemment calculé,
- 40 - on détermine une nouvelle position x_s de la fibre en sortie de four par incrémentation de la valeur du déplacement dx_s précédemment calculé,
- on réitère les opérations jusqu'à l'obtention du profil désiré.

L'invention a également pour objet un dispositif de mise en oeuvre du procédé comprenant un moyen de chauffage et des moyens de déplacement de la fibre pilotés par un premier calculateur qui asservit la position de chacun de ces moyens de déplacement à partir de données fournies par un deuxième calculateur qui comprend un programme d'exécution des étapes du procédé. Le moyen de chauffage comprend un chalumeau classique et une source laser.

Dans ce qui suit, une seule fibre sera utilisée pour simplifier la description, mais le procédé est applicable à un ensemble de plus d'une fibre.

D'autres particularités et avantages de l'invention

apparaîtront à la lecture de la description faite à titre d'exemple illustratif et non limitatif en référence aux figures annexées qui représentent :

- la figure 1, les étapes du procédé selon l'invention,
- la figure 2, les étapes permettant de calculer les déplacements dx_e ,
- la figure 3, le schéma d'un dispositif préféré de mise en oeuvre de l'invention,
- la figure 4, des exemples de différents profils obtenus après la mise en oeuvre du procédé,
- la figure 5, un profil de fibre effilée avec apparition d'un régime d'instabilité où le diamètre oscille et ne suit plus la loi en $f(x_e)$.

Une réalisation du procédé se fait en plusieurs étapes qui sont décrites dans la figure 1. Une première étape du procédé 100 a pour objet d'imposer une vitesse V_e de défilement de la fibre à l'entrée du four. La vitesse V_e peut s'écrire sous la forme d'une relation, telle que $V_e = dx_e/dt$, à partir de laquelle on en déduit dx_e . On peut choisir une loi simple d'évolution de la vitesse d'entrée de la fibre, soit par exemple

$$dx_e = \text{constante ou } dx_e = a + b.D_e.$$

Dans une deuxième étape 200, on choisit, selon le profil que l'on désire obtenir, une loi f de variation du diamètre D_e de la fibre en sortie de four, en fonction des positions x_e , variables dans le temps, de la fibre en sortie de four, telle que : $D_e = f(x_e)$ (1).

Les profils que l'on désire obtenir dépendent des dispositifs que l'on veut réaliser. Pour réaliser des filtres modaux, par exemple, il faut dans un premier temps étirer la fibre selon une pente assez importante pour provoquer le couplage entre modes. On peut dans ce cas, utiliser une loi de variation linéaire. On diminue ensuite la pente pour atténuer les couplages parasites; il est alors préférable d'utiliser une loi de variation parabolique.

De manière plus générale, on pourra choisir différentes lois de variation que l'on appliquera les unes après les autres, sur des longueurs déterminées de fibre. Dans ce qui suit, on donnera des exemples de profils linéaires ou paraboliques ou de combinaison de profils linéaires et paraboliques. Mais ce ne sont que des exemples illustratifs, d'autres profils, décrits par une loi f ou des lois f et g de variation, peuvent être réalisés pour d'autres applications. Ainsi, par exemple, des profils exponentiels, ou des profils décrits par un ou plusieurs polynômes dérivables quelconques peuvent être réalisés.

Enfin, dans une dernière étape 300 on opère des étirements successifs pour modifier à chaque fois le diamètre D_e de la fibre en sortie de four et suivre la loi f de variation.

Les déplacements dx_e de la fibre en sortie de four engendrant ces étirements sont calculés en plusieurs étapes illustrées sur la figure 2.

Pour calculer ces déplacements dx_e , on détermine,

à partir de la loi de variation $D_e = f(x_e)$, une première valeur du diamètre $D_{e(n)}$ de la fibre en sortie de four en fonction de la première position $x_{e(n)}$ de la fibre en sortie de four 200.

On détermine ensuite le déplacement $dx_{e(n)}$ 300, pour réaliser un étirement de la fibre en sortie de four correspondant à cette valeur. Pour trouver la relation permettant de calculer la valeur du déplacement $dx_{e(n)}$, on part de la relation établissant l'égalité des volumes de matière entrantes et sortantes, soit: $D_e^2.V_e = D_s^2.V_s$, où V_e est la vitesse de la fibre en entrée de four et V_s est la vitesse de la fibre en sortie de four. Or les vitesses V_e et V_s peuvent aussi s'écrire de la façon suivante :

$$V_e = dx_e/dt \text{ et } V_s = dx_s/dt.$$

A partir de ces égalités, on aboutit, à l'étape 301, à une relation de dx_e en fonction de la vitesse dx_e de défilement de la fibre en entrée de four et du diamètre D_s de la fibre en sortie de four qui est la suivante :

$$dx_e = (D_e^2/D_s^2).dx_s \quad (2)$$

où

D_e = Diamètre de la fibre en entrée de four

D_s = Diamètre de la fibre en sortie de four

dx_e = vitesse de la fibre en entrée de four

On détermine ensuite une nouvelle position $x_{e(n+1)}$ 302 de la fibre en sortie de four, par incrémentation de la valeur du déplacement $dx_{e(n)}$ précédemment calculé, selon la relation :

$$x_{e(n+1)} = x_{e(n)} + dx_{e(n)} \quad (3)$$

On réitère les opérations successivement en appliquant les relations (1), (2), et (3) jusqu'à l'obtention du profil désiré.

Dans le cas d'un profil linéaire, on réitère par exemple les opérations jusqu'à l'obtention d'une valeur seuil fixée du diamètre D_e . Dans le cas d'un profil parabolique, on réitère par exemple les opérations jusqu'à l'obtention du diamètre initial ($D_e = D_0$) de la fibre.

On pourra appliquer le procédé qui vient d'être décrit dans le cas où les variations de volume de la zone de fibre fondue sont négligeables devant le volume de matière sortante.

Dans le cas contraire, on tiendra compte de préférence de ces variations de volume.

Pour tenir compte de ces variations on va par exemple considérer cette zone fondue comme un tronc de cône, le calcul de la variation de volume en fonction de celle du diamètre de sortie donne l'expression suivante :

$$\Delta V = (\pi/12).L.(D_e + 2D_0)\Delta D_0$$

où L est la hauteur du tronc de cône, soit la largeur efficace du four. Cette expression conduit à une nouvelle relation de dx_e :

$$dx_g = (D_g^2/D_g^2) \cdot dx_g + L \cdot (D_g + 2D_g) \Delta D_g/3 \quad (4)$$

qui remplace la relation (2) dans l'itération précédente 301. ΔD_g , la variation du diamètre en sortie entre chaque itération, est obtenue à partir de la relation (1). Les variations de la hauteur L du tronc de cône en fonction de D_g peuvent également être prises en compte ainsi que toute autres formes approchées de la zone de fibre fondue.

On constate que dans ce cas, lorsque le rapport D_g/D_g atteint un seuil maximum, il peut se produire un régime d'instabilité, illustré sur la figure 5, où le diamètre oscille et ne suit plus la loi en $f(x_g)$. Dans ce cas, on réalise l'effilement en deux étapes. Dans une première étape, on tire sur la fibre jusqu'à atteindre une valeur de diamètre intermédiaire et on continue à tirer sur une longueur déterminée de manière à obtenir un cylindre. Dans une deuxième étape, on revient à l'origine du cylindre ainsi créé et on termine l'effilement selon le profil choisi.

On va maintenant décrire un mode de réalisation préféré d'un dispositif de mise en oeuvre du procédé. Le schéma de ce dispositif est représenté sur la figure 3. Il comprend un moyen de chauffage des fibres, appelé four 10 et des moyens de déplacement 30 des fibres par rapport à ce four.

Le four 10 est constitué de deux éléments. D'une part, un micro-chalumeau 11 classique fonctionnant de préférence avec du butane, de l'oxygène et de l'azote qui est ajouté pour régler la température de flamme; d'autre part une source laser 12. Cette source laser 12 comporte de préférence un laser à CO_2 . Le chalumeau permet de chauffer la fibre jusqu'à sa température de ramollissement; ceci permet de relâcher, avant l'effilage de la fibre, les contraintes et déformations éventuelles dues au procédé de fixation des fibres. Le laser à CO_2 permet de porter à température de fusion une longueur minimum de fibre. Un moyen de focalisation de la source laser 12 est de préférence constitué par une lentille cylindrique 13 associée à un miroir sphérique. Ce miroir sphérique permet de refocaliser le rayonnement du faisceau laser, qui se divise de part et d'autre de la fibre lorsqu'il rencontre cette dernière, sur le côté de la fibre situé à l'opposé de la source laser par rapport à l'axe de défilement.

Une lunette, non représentée sur la figure, permet de repérer la température de la fibre par sa brillance. Cette mesure permet de réguler la puissance fournie par le laser CO_2 au moyen d'une fente 14 dont l'ouverture est asservie par une mécanique de contrôle, elle-même pilotée par le calculateur PCII 20.

Dans une autre variante, une autre mécanique de contrôle, pilotée par le calculateur PCII 20, asservit le débit gazeux du chalumeau pour modifier la largeur de flamme.

L'utilisation conjointe de ces deux moyens de chauffage permet d'aboutir à une largeur efficace de four minimum tout en réduisant, autant que possible, les

effets de souffles dus au chalumeau et de créer un point le plus chaud dans le four. On peut donc déterminer l'origine sur l'axe des déplacements de la fibre, à partir du point le plus chaud du four ainsi créé.

L'ensemble chalumeau plus optique de focalisation du laser est mobile perpendiculairement à l'axe de la fibre. Sa mise en place et son retrait, au début et à la fin du processus de tirage, sont assurés par le calculateur PCII 20, qui comprend une commande de déplacement et une commande d'allumage du laser.

Le déplacement de la fibre est assuré par des moyens de déplacement comprenant, de préférence, deux tables à coussin d'air 30 de façon à réduire l'influence des frottements. La position de chaque table est repérée par des moyens habituels sur les machines outils, avec une résolution de $0,1\mu m$. Leurs mouvements sont assurés par un moteur 31 linéaire dont le bobinage est fixe et la carcasse mobile. Ceci évite les vibrations mécaniques et permet à l'équipage mobile de n'avoir aucune connexion électrique susceptible de gêner son déplacement. Les deux moteurs sont pilotés par un premier calculateur PCI 40 qui asservit la position de chaque table à partir de données fournies par un deuxième calculateur PCII 20 qui comprend un programme d'exécution des étapes du procédé. L'ensemble des positions des tables peut être mis en mémoire vive du calculateur, avant l'étirage de la fibre, au moyen d'un programme de calcul utilisant les relations (1), (2), (3) et (4) précédemment décrites.

La force de traction appliquée sur la fibre peut en outre être mesurée par ce même calculateur PCII 20. Elle est initialisée au départ de façon à tenir compte de la dilatation de la fibre lors de la mise en place du four.

Les échanges entre calculateurs, et les mesures sont réalisées par le biais des ports d'entrée/sortie sans protocole d'échange pour ne pas ralentir la fabrication des dispositifs en fibres étirées.

Selon une autre variante préférée de l'invention, on peut fixer un laser à un bout de la fibre, pour injecter des impulsions de lumière dans la fibre, et fixer un détecteur, relié au calculateur PCII (20), à l'autre bout de la fibre pour contrôler les phénomènes qui existent à la sortie de celle-ci lors de l'étirage.

Grâce à ce procédé de fabrication de fibres étirées, on peut réaliser toutes sortes de profils selon les dispositifs que l'on souhaite obtenir.

Dans cette description, on a choisi de donner des exemples de quelques profils. Ces exemples, qui sont illustratifs mais non limitatifs, sont rassemblés sur la figure 4.

La courbe PA représente un profil linéaire obtenu en utilisant l'équation d'une droite pour la loi f de variation.

La courbe PB représente un profil parabolique obtenu en utilisant l'équation d'une parabole pour la loi f de variation.

La courbe PC représente un profil pour lequel il y a une combinaison de différentes lois appliquées succes-

sivement sur des longueurs déterminées de fibre. Le profil est linéaire sur une portion de fibre et correspond à l'équation d'une droite choisie pour la loi f de variation, puis le profil est parabolique sur une autre portion de fibre et correspond à l'équation d'une parabole choisie pour la loi g de variation, et enfin le profil est linéaire sur une troisième portion de fibre et correspond à l'équation d'une droite choisie pour la loi f de variation.

Revendications

1. Procédé d'étirage contrôlé d'une ou plusieurs fibres optiques caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :

- imposer une vitesse $V_e = dx_e/dt$ de défilement de la fibre entrant dans le four,
- choisir une loi f de variation du diamètre D_s de la fibre telle que $D_s = f(x_e)$ dans laquelle x_e représente les positions variables dans le temps de la fibre en sortie de four,
- opérer des étirements successifs sur la fibre pour modifier à chaque fois le diamètre D_e de la fibre en sortie de four de façon à suivre le profil défini par loi f de variation.

2. Procédé d'étirage contrôlé d'une ou plusieurs fibres optiques selon la revendication 1, caractérisé en ce que pour opérer les étirements successifs sur la fibre de manière à modifier à chaque fois le diamètre D_e de la fibre et à suivre le profil défini par la loi f de variation,

- on détermine une première valeur du diamètre D_e de la fibre en sortie de four, à partir de la loi établie, en fonction de la position x_e de la fibre en sortie de four,
- on détermine le déplacement dx_e pour réaliser un étirement de la fibre en sortie de four correspondant à cette valeur, à partir de la valeur de la vitesse dx_e de défilement de la fibre en entrée de four et de la valeur du diamètre D_e précédemment calculé,
- on détermine une nouvelle position x_e de la fibre en sortie de four par incrémentation de la valeur du déplacement dx_e précédemment calculé,
- on réitère les opérations jusqu'à l'obtention du profil désiré.

3. Procédé d'étirage contrôlé d'une ou plusieurs fibres optiques selon l'une des revendications 1 à 2, caractérisé en ce que la relation permettant de calculer la valeur du déplacement dx_e est la suivante :

$$dx_e = (D_e^2/D_s^2).dx_s.$$

4. Procédé d'étirage contrôlé d'une ou plusieurs fibres optiques selon l'une des revendications 1 à 2, caractérisé en ce que la relation permettant de calculer la valeur du déplacement dx_e est la suivante :

$$dx_e = (D_e^2/D_s^2).dx_s + L(D_e + 2.D_s)\Delta D_s/3.$$

5. Procédé d'étirage contrôlé d'une ou plusieurs fibres optiques selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on choisit une loi f de variation de manière à l'appliquer sur une première longueur de fibre, et on choisit une autre loi g de variation de manière à l'appliquer sur une deuxième longueur de fibre.

6. Procédé d'étirage contrôlé d'une ou plusieurs fibres optiques selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que la loi f ou les lois f et g de variation sont des équations de courbes dérivables dans l'intervalle de calcul du diamètre de la fibre.

7. Procédé d'étirage contrôlé d'une ou plusieurs fibres optiques selon les revendications 5 ou 6, caractérisé en ce que la loi f de variation est l'équation d'une droite et la loi g de variation est l'équation d'une parabole.

8. Procédé d'étirage contrôlé d'une ou plusieurs fibres optiques selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'origine sur l'axe des déplacements de la fibre est déterminée à partir du point le plus chaud du four.

9. Dispositif de mise en oeuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes comprenant un moyen de chauffage et des moyens de déplacement de la fibre pilotés par un premier calculateur, caractérisé en ce qu'il comporte un deuxième calculateur (20) et en ce que ledit premier calculateur (40) asservit la position de chacun de ces moyens de déplacement (30) à partir de données fournies par le deuxième calculateur (20) qui comprend un programme d'exécution des étapes du procédé.

10. Dispositif selon la revendication 9, caractérisé en ce que le moyen de chauffage (10) est un four constitué d'un chalumeau (11) et d'une source laser (12).

11. Dispositif selon l'une des revendications 9 à 10, caractérisé en ce que la source laser (12) est un laser à CO_2 .

FIG_1

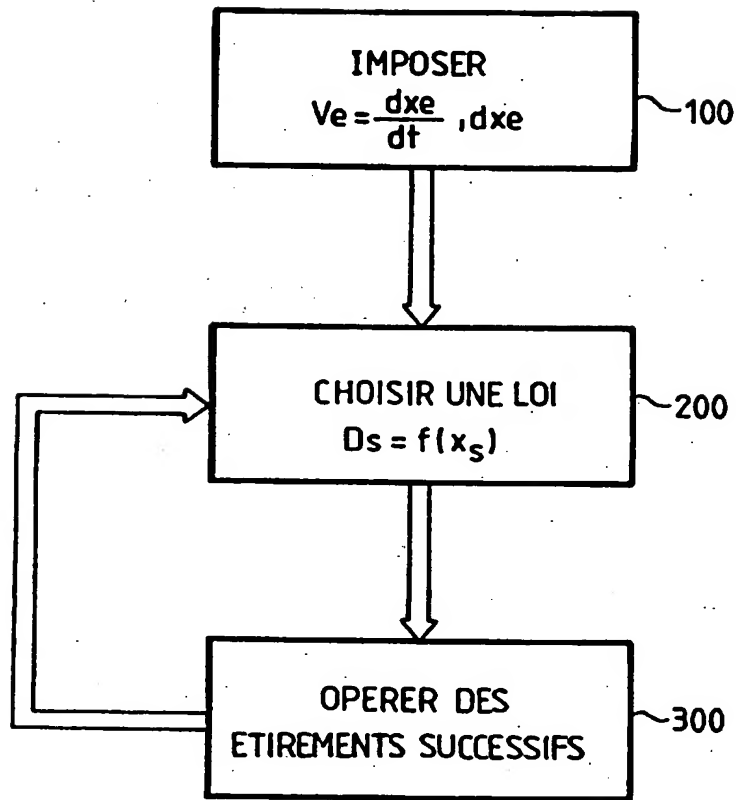
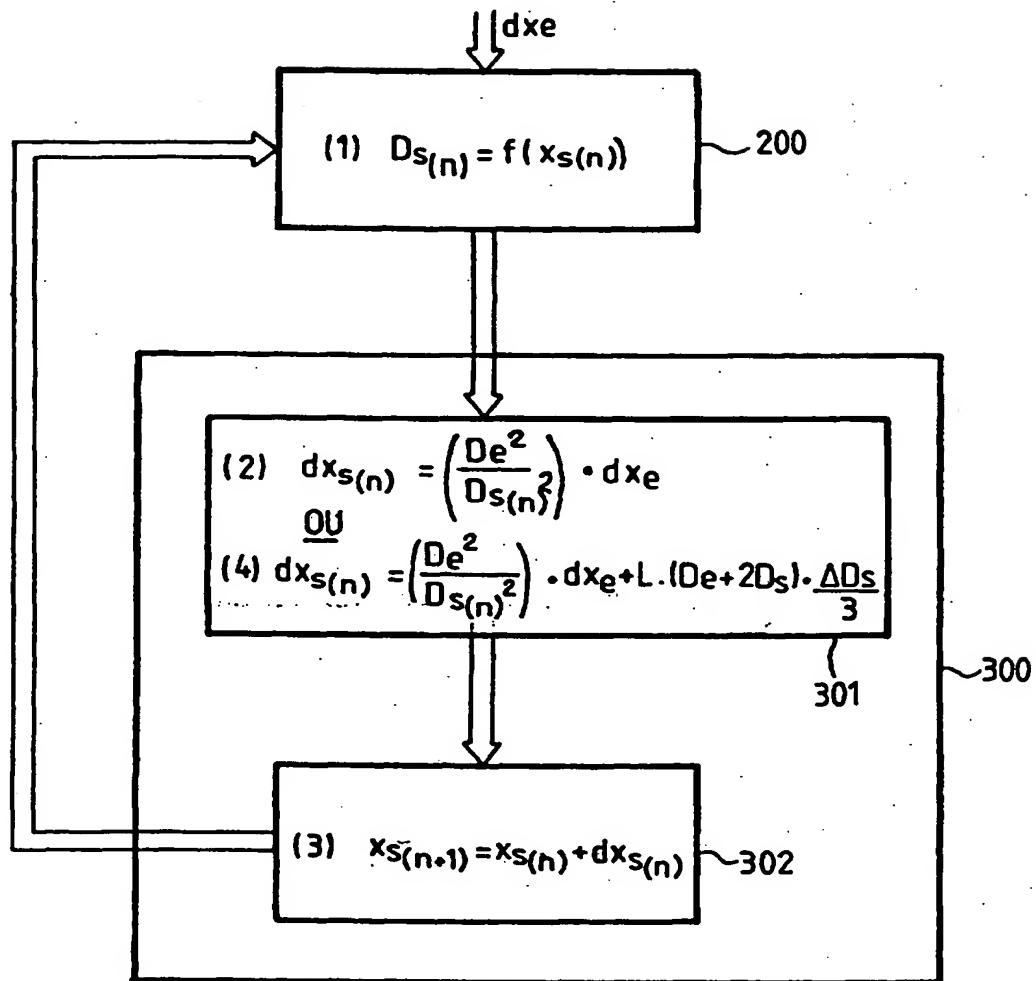


FIG. 2



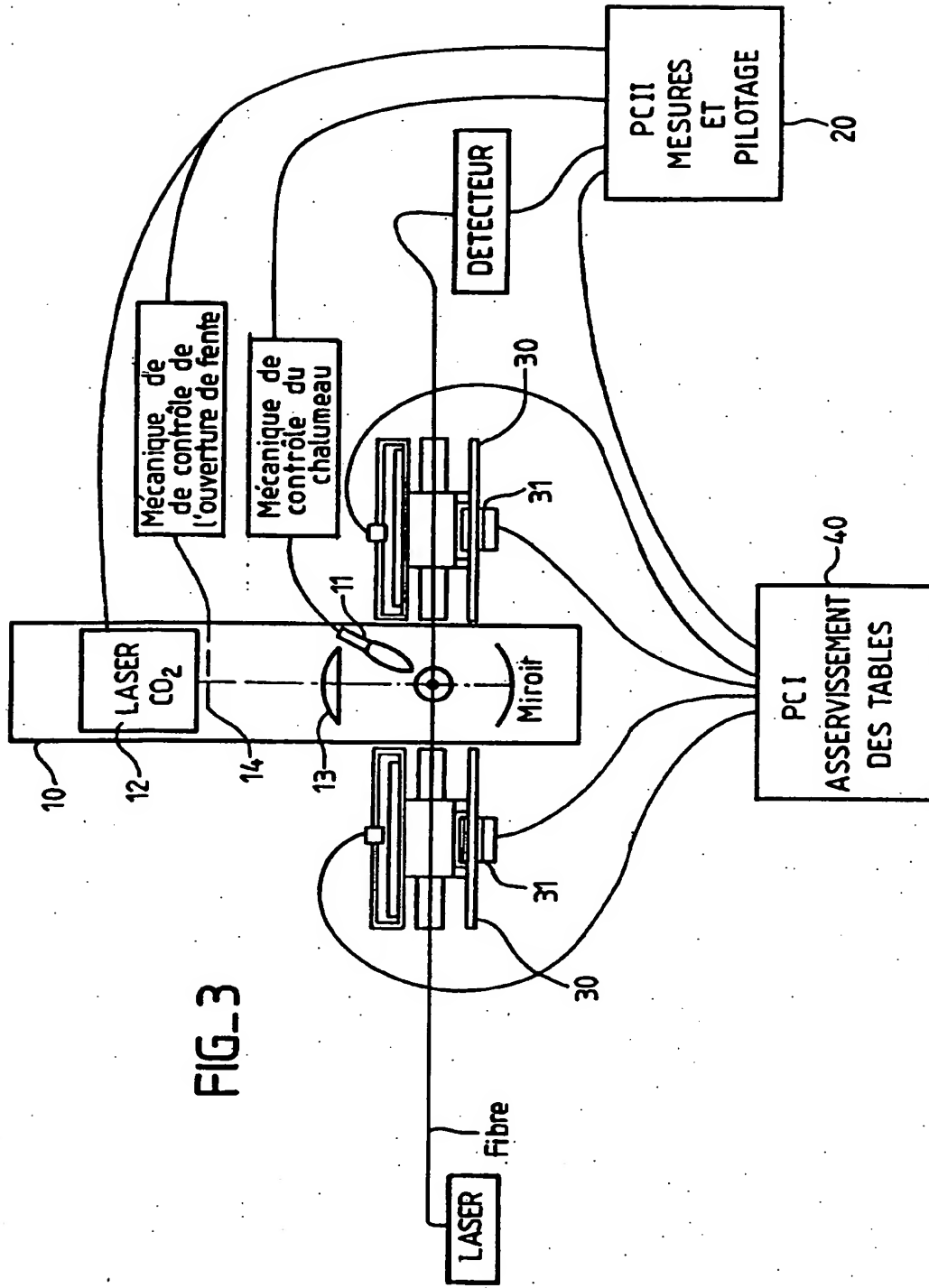
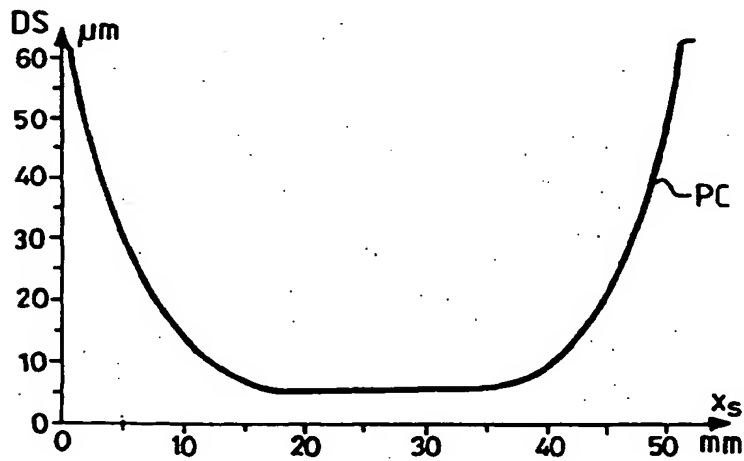
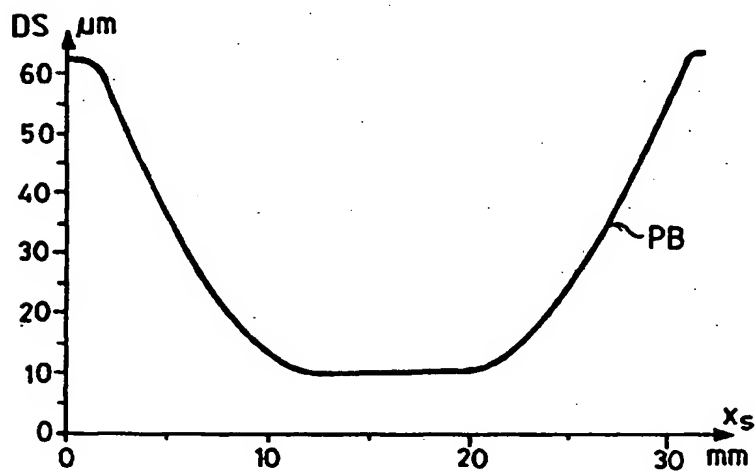
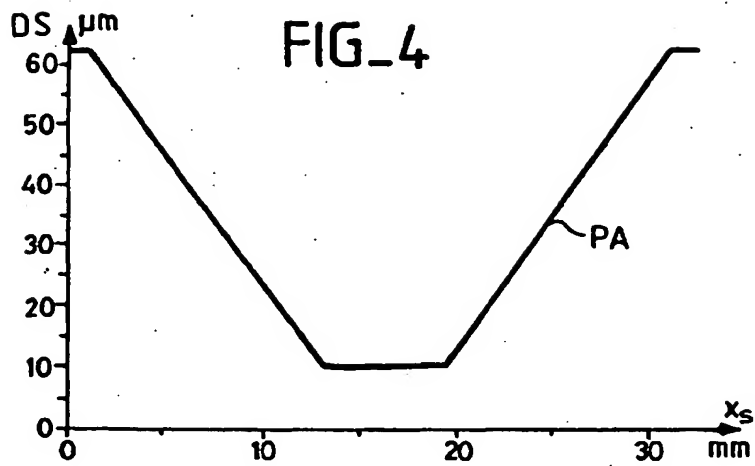


FIG. 3



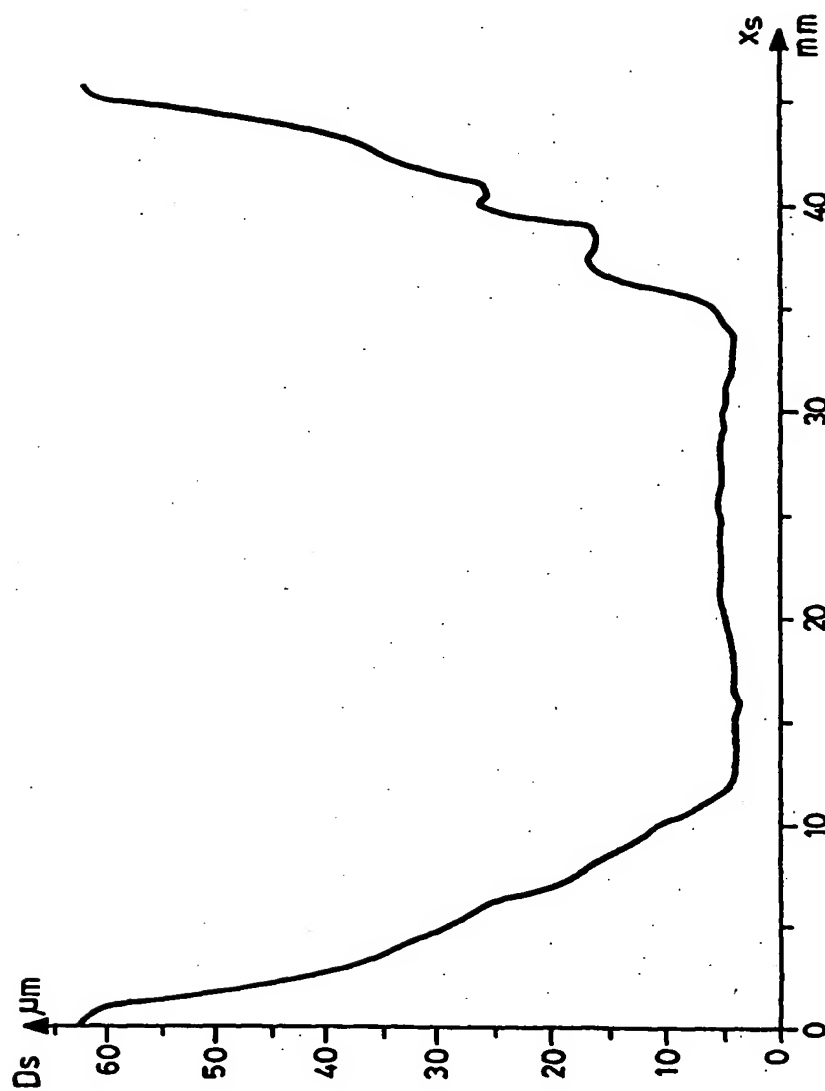


FIG. 5



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande
EP 95 40 2672

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.CI.4)
Y	US-A-4 765 816 (H.C. BJORNIE ET AL) * colonne 1, ligne 50 - colonne 4, ligne 8 *	1-9	C03B37/15 G02B6/28
D,Y	--- ELECTRONICS W LETTERS, vol. 27, no. 18, 29 Août 1991 STEVENAGE;GB, pages 1654-1656, R.P. KENNY ET AL 'CONTROL OF OPTICAL FIBRE TAPER SHAPE' * article entier *	1-9	
X	--- EP-A-0 148 569 (STANDARD TELEPHONES AND CABLES) * page 5, ligne 30 - page 7, ligne 22; revendications 1,4 *	1-9	
A	--- EP-A-0 369 329 (JAPAN AVIATION ELECTRONICS INDUSTRIES) * revendication 1 *	1	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.CI.4)
			C03B G02B
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 13 Mars 1996	Examinateur Goovaerts, R
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul V : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>			

EPO FORM 150 (02/92) (PAGE 1)